

Датчики положения базирующих роликов могут быть как электрические, так и механические. В случае использования электрических датчиков сигналы сравниваются, результат сравнения усиливается и управляет распределителями гидроцилиндров. Должна быть установлена обратная связь между положением роликов *б* и *II* и углом разворота пильного узла. При использовании механических датчиков смещение осей роликов непосредственно воздействует на штоки распределителей гидроцилиндров.

Резкие перемещения и развороты пил (при наличии небольших дефектов на боковых поверхностях бруса или чрезвычайно больших искривлений бруса и, следовательно, заклинивание пил в пропилах) предотвращаются дросселированием потоков масла к гидроцилиндрам. Смещения и развороты пил становятся плавными.

Рассмотренная функциональная схема многопильного станка устраняет недостатки предложенной ранее конструкции и позволяет сконструировать многопильный станок для распиловки дугообразных и *S*-образных брусьев.

### Библиографический список

1. Воякин, А.С. Ценные проценты / А.С. Воякин //Лесная индустрия. – 2011. – № 3 (41). – С. 40–46.
2. Красиков, А.С. Пиление искривленных брусьев на многопильных станках / А.С. Красиков // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды X Междунар. евразийск. симпозиума. – Екатеринбург, 2015. – С. 162–164.

УДК 674.053:621.789

**Д.В. Куис, Г.П. Окатова, Н.А. Свидуневич, П.В. Рудак**

(D.V. Kuis, G.P. Okatova, N.A. Svidunovich, P.V. Rudak)

(БГТУ, г. Минск, РБ),

**В.С. Урбанович** (V.S. Urbanovich)

(ГО НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, г. Минск, РБ),

**В.М. Ойченко** (V.M. Ojchenko)

(ФТИ им. А.Ф. Иоффе, РАН, г. Санкт-Петербург, РФ)

E-mail для связи с авторами: DmitryKuis@mail.ru

### ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ АМОРФНО-НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ВЫСОКОТВЕРДОГО КОМПОЗИТА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ НАНОУГЛЕРОДА

#### STRUCTURE FORMATION OF AMORPHOUS-NANOCRYSTALLINE COMPOSITE WITH HIGH HARDNESS BASED ON NANOCARBON

*Из порошков углеродных материалов и карбонильного железа в соотношении С-90 мас. % методом высокотемпературной интенсивной пластической деформации изготовлены композиционные материалы, было изучено структурное состояние полученных материалов различными методами исследований.*

*Of powders carbon and carbonyl iron materials in the ratio C-90 weights of % a method of high-temperature intensive plastic deformation are made by composite materials. The structural conditions of the materials were studied with different research methods.*

В настоящее время происходит бурное развитие исследований и разработок в области наноматериалов и нанотехнологий – стратегически важной области исследований в развитых странах, с которыми связывается новая научно-техническая революция. Эти исследования являются междисциплинарными – на стыке физики, химии, биологии, медицины и материаловедения, они требуют нового приборного оснащения для диагностики, чистых помещений, новых организационных подходов.

Наряду с созданием новой техники и новых технологий, благодаря более полному изучению процессов, происходящих на атомно-молекулярном уровне, открываются новые перспективы развития для всех отраслей народного хозяйства, в том числе медицинской, пищевой, парфюмерной, автомобильной, электронной и др.

Композиционные материалы приобретают принципиально новые качества, если они построены на основе наноструктурированных «строительных блоков». У них значительно изменяются механические, магнитные и оптические свойства. Так, известно, что у таких композитов сильно увеличивается твердость и прочность; с другой стороны, возможно увеличение их эластичности и суперпластичности.

В последнее десятилетие авторами проводились работы в направлении поиска путей создания композитного материала на основе Fe-C инструментального назначения с использованием наноуглеродных добавок и нанотехнологий. В работе изучалась возможность замены дорогостоящих фуллеренов, используемых рядом авторов, на более дешевые наноуглеродные материалы.

Ранее нами было показано, что в условиях высоких давлений (4–5 ГПа) и температур (950–1200 °C) образование сверхтвердой алмазоподобной углеродной фазы серого цвета в нанокompозите Fe-C происходит не только из фуллеренов, но и из других, более дешевых нанодисперсных углеродных материалов – фуллеренсодержащей сажи, многостенных нанотрубок, фуллереновой черни [1]. В основе идеи о возможности замены фуллеренов на другие наноуглеродные материалы – предположение о ведущем влиянии дисперсности исходного углеродного наноматериала на образование «сверхупругих и твердых углеродных частиц».

Изучение механизма структурообразования сверхтвердой фазы в композите с нанодисперсным углеродом необходимо для научно обоснованного управления процессом создания новых материалов этого класса.

Спеканием фуллереновой сажи под высоким давлением (4 ГПа) после исчерпывающей экстракции из нее фуллеренов с добавлением Fe (10 %) получены образцы углеродного нанокompозита с включениями сверхтвердой фазы (рис. 1). Микротвердость включений сверхтвердой фазы (рис. 1б) – до 107 ГПа, фазы-основы – до 14,6 ГПа, частиц на основе Fe – до 9,2–10,8 ГПа. Нанокompозит имеет удельный вес 2,14–2,18 г/см<sup>3</sup> и характерный стекловидный излом [2].

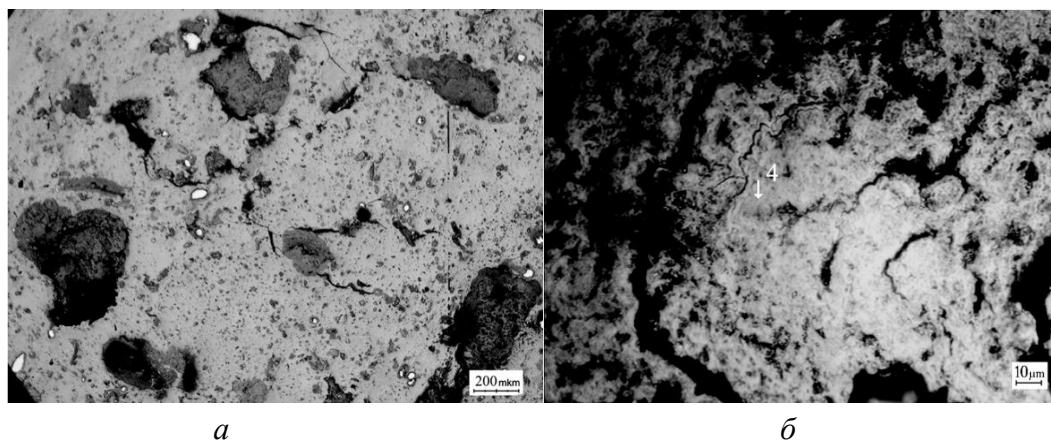


Рис. 1. Микроструктура нанокompозита состава 90 % C  
(экстрагированной фуллереновой сажи +10 % Fe):

*a* – общий вид, *б* – сверхтвердая частица фазы с рельефом «зигзаг крапчатый»,  
 $H_u \sim 107$  ГПа; *a* –  $\times 50$ , *б* –  $\times 1000$

Методами световой и сканирующей электронной микроскопии, рентгеновской дифракции и микрорентгеноспектрального анализа установлено, что полученный композиционный материал на  $\sim 90$  % представляет собой сплошную углеродную фазу с аморфной составляющей и нанокристаллитами различной морфологии и степени дисперсности (1,5–14,5 нм), а также содержит включения дисперсных частиц карбидов Fe.

Вид связующей серой фазы «основа» в изломе (СЭМ) (рис. 2*а*) почти гладкий, характерный для стеклообразного, полностью аморфного, некристаллического углерода, дифракция рентгеновских лучей которого показывает только «аморфное гало».

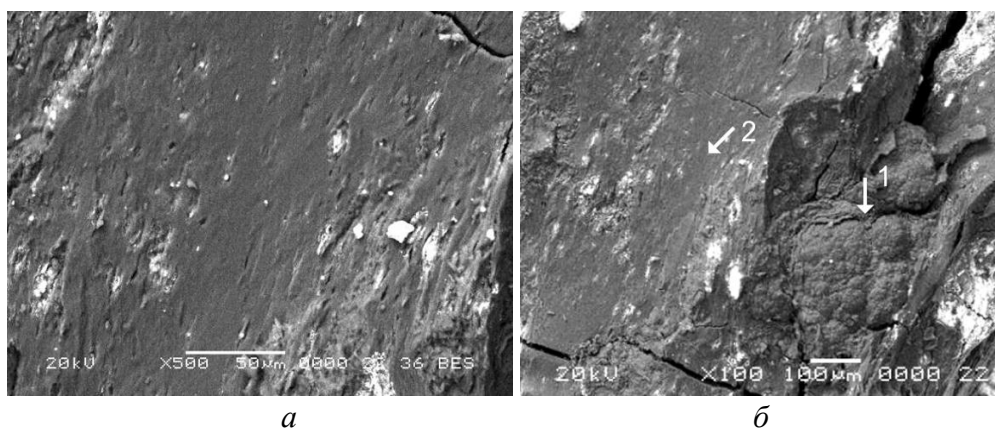


Рис. 2. Поверхность образца композита C-Fe (10 %) в изломе (СЭМ):

*a, б* (по стр. 2) – серая фаза «основа», гладкая стеклообразная;  
*б* – сверхтвердая частица фазы с «глобулярным» рельефом (по стр. 1)

Поверхность частиц серой фазы с «глобулярным» рельефом с повышением разрешения оказывается в свою очередь состоящей из более мелких «глобул», спаянных между собой (рис. 3*б*); элементный микрорентгеноспектральный анализ показал, что сверхтвердые частицы с «глобулярным» рельефом состоят из углерода (C) (рис. 3*в*).

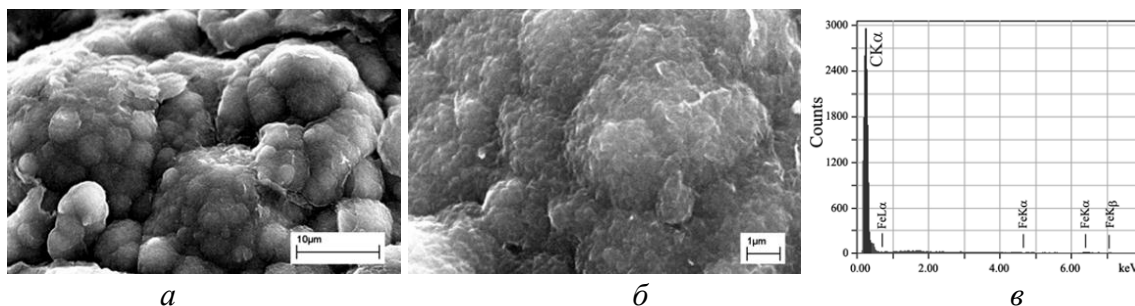


Рис. 3. Поверхность супертвердой частицы с «глобулярным» рельефом в изломе образца C-Fe (10 %), СЭМ (а, б); результаты EDX-анализа (в) с площади изображения (а)

Серая фаза «основа» состоит из углерода с включениями железа (от 1,8 до 7–10 масс. %) (рис. 4а), что близко к заложенному в шихту количеству 10 %. Fe распределено достаточно равномерно в виде дисперсных частиц различного размера (рис. 4б).

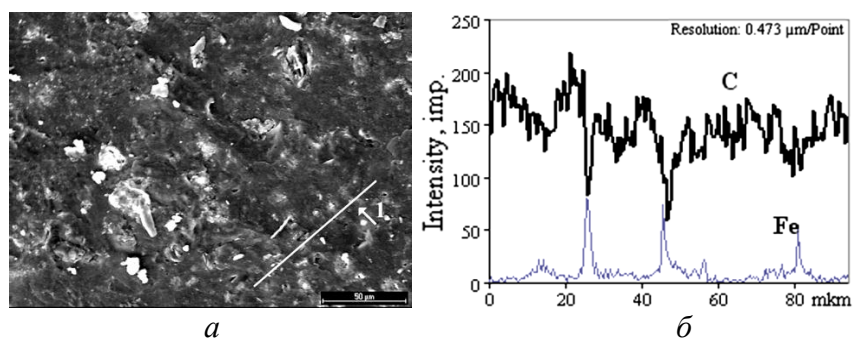


Рис. 4. Поверхность серой фазы «основа» в изломе образца C-Fe (10 %) (а); результаты EDX-анализа (б) при сканировании по линии изображения (на рисунке а, по стрелке 1)

Сложный дифракционный профиль нанокompозита C + 10 % Fe в интервале углов  $2\theta \approx 19\text{--}31^\circ$  содержит несколько наложенных рентгеновских линий с широкими размытыми пиками – «аморфные гало» (рис. 5, линии 2, 3). Пик линии 1 соответствует нанокристаллическому состоянию. Таким образом, структура углеродного нанокompозита C + Fe (10 %) является рентгеноаморфнонанокристаллической.

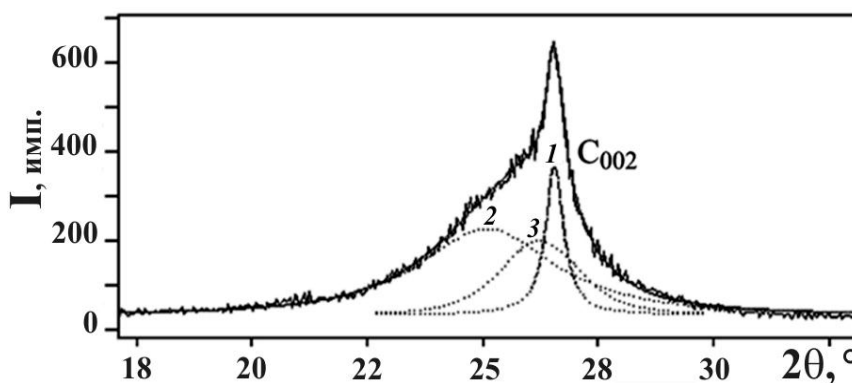


Рис. 5. Дифрактограмма нанокompозита C-Fe (10 %) с разложением профиля на синглеты 1, 2, 3

Для исследования тонкой структуры нанокompозита, уточнения фазового состава и степени разупорядочения кристаллической структуры были использованы методы просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), электронографии в ПЭМ высокого разрешения JEM2100 (фирмы JEOL, Япония) и рамановской спектроскопии на спектрометре комбинационного рассеяния RAMANOR U-1000 (фирмы Jobyn Yvon Instruments S. A. Inc., Франция).

При сквозном просвечивании в ПЭМ в нанокompозите наблюдаются области нанокристаллического строения и бесструктурные участки (рис. 6а). Картина дифракции с бесструктурного участка (рис. 6б) представляет собой два размытых кольца Лауэ, соответствующих первой и второй сферам углерода, свидетельствующих о полном разупорядочении, т. е. аморфном состоянии.

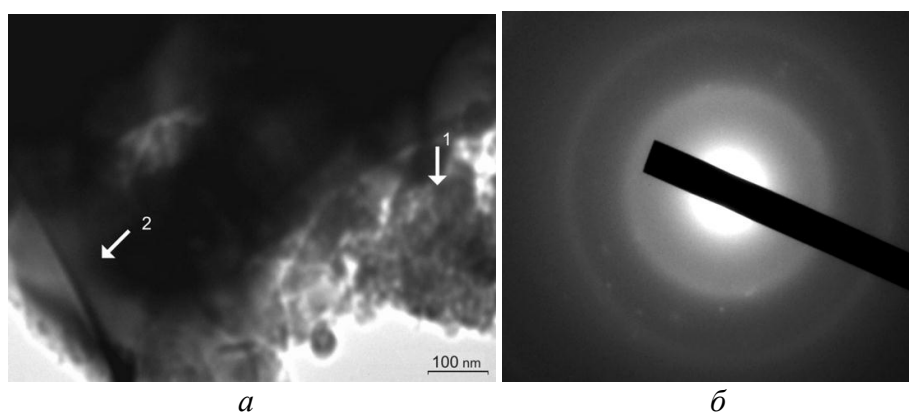


Рис. 6. Результаты исследования в ПЭМ нанокompозита  $C_{эфс} - 10$  масс. % Fe:  
а – тонкая структура, по стрелке 1 – нанокристаллический участок, по стрелке 2 – аморфный;  
б – картина дифракции с аморфного участка (рисунок а, по стрелке 2)

Результаты рамановской спектроскопии (рис. 7) подтверждают данные ПЭМ о разупорядочении – аморфизации структуры нанокompозита. Положение  $D$ -линии  $\nu_D = 1350 \text{ см}^{-1}$  и высокое отношение интенсивностей  $I_D/I_G$  типично для аморфного углерода [3].

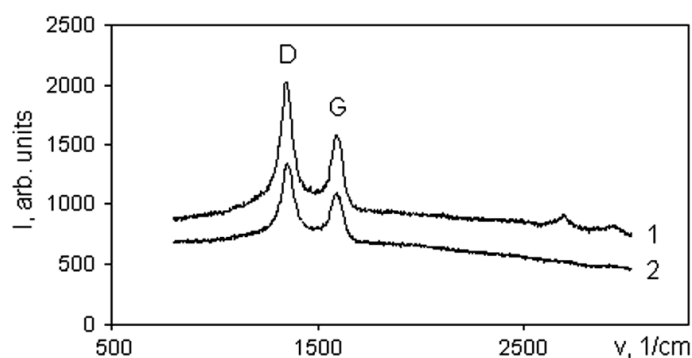


Рис. 7. Спектры Рамана нанокompозита  $C_{эфс} - 10$  масс. % Fe, типичные для аморфного углерода:  
1 – высокотвердая фаза с «глобулярным рельефом»; 2 – серая фаза «основа»

Таким образом, полученный углеродный нанокompозит на основе C-Fe (10 %), является аморфным, подобным стекловидному углероду, и содержит сверхтвердые частицы. Его твердость является изотропной, то есть одинаково высокой во всех направлениях с супертвердостью на сверхтвердых частицах.

### Библиографический список

1. Структура и свойства нанокompозита на основе железа и нанодисперсного углерода / Г.П. Окатова [и др.] // Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология: сборник; тез. докл. VI Междунар. конф., 28–30 окт. / ФГУ технол. ин-т сверхтвердых и новых углеродных мат-лов. – Троицк: Тровант, 2009. – С. 183.
2. Тезисы VIII Междунар. конф. «Углерод: Фундаментальные проблемы науки, материаловедение. Технология» / В.С. Урбанович, В.Д. Куис, Г.П. Окатова, Н.А. Свидунович, В.М. Ойченко, Л.В. Баран. – Троицк: Тровант, 2012. – С. 500.
3. Компан, М.Е. Комбинационное рассеяние света в самоформирующемся нанопористом углероде на основе карбида кремния / М.Е. Компан, Д.С. Крылов, В.В. Соколов // Физика и техника полупроводников. – 2011. – Том 45. – Вып. 3. – С. 316–321.

УДК 674.053:621.9

**В.Г. Новоселов, М.Г. Тутынина, Т.В. Полякова**

(V.G. Novoselov, M.G. Tutynina, T.V. Polyakova)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

E-mail для связи с авторами: kozerog54@yandex.ru

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ НА РЕЙСМУСОВОМ СТАНКЕ СР6-8 ПО КРИТЕРИЮ «ТОЧНОСТЬ»**

#### **RESEARCH AND INCREASE OF RELIABILITY OF TECHNOLOGICAL SYSTEM OF PROCESSING ON THE SURFACE GAUGE SR6-8 MACHINE BY CRITERION «ACCURACY»**

*Приведены результаты расчетов наработки до отказа технологической системы обработки на рейсмусовом станке СР6-8 по критерию «точность». Определены линейные и угловые параметры ножей, упрочненных химико-термической обработкой и расположенных тангентально на корпусе вала. Разработан эскиз установки, крепления и регулирования вылета ножей.*

*Results of calculations of an operating time to failure of technological system of processing on the surface gauge SR6-8 machine by criterion «accuracy» are given. Linear and angular parameters of knives are determined, strengthened by chemical heat treatment and located tangential on the bank case. The sketch of installation, fastening and regulation of knives is developed.*

Надежность технологических систем оценивается такими критериями, как: качество продукции, производительность и материальные или стоимостные затраты [1]. При этом качество продукции является определяющим в оценке надежности, поскольку выпуск некачественных изделий приводит к непроизводительным затратам и прямому ущербу для предприятия. Критерием отказа по параметрам качества продукции может служить выход одного из показателей качества изготовленной продукции за пределы, установленные конструкторской и технологической документацией [2].